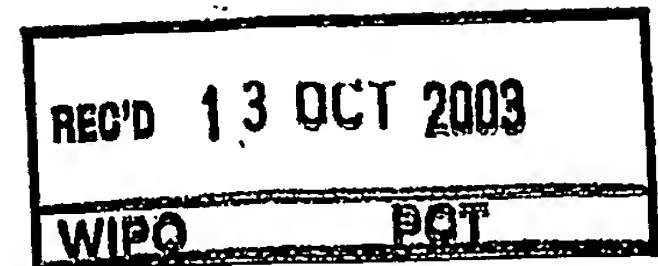


**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 39 017.7

**Anmeldetag:**

20. August 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Airbus Deutschland GmbH, Hamburg/DE;  
EADS Deutschland GmbH, Ottobrunn/DE.

Erstanmelder: EADS Deutschland GmbH,  
Ottobrunn/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung  
mittels Barkhausenrauschen

**IPC:**

G 01 N 27/80

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. August 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Stremme

## **Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung mittels Barkhausenrauschen**

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung mittels Barkhausenrauschen. Die Erfindung findet beispielsweise Anwendung zur Spannungs-/Dehnungsmessung von Bolzen oder Nieten am Flügel oder Rumpf eines Flugzeuges, insbesondere während Wartungsarbeiten.

10 Bisher wurden z.B. zum Anziehen von Bolzen Drehmomentschlüssel verwendet, bei gleichzeitiger Bestimmung der inneren Spannungen im Bolzen mittels Ultraschall-Geschwindigkeitsmessung. Dies setzt jedoch voraus, dass der Bolzen mit einem Piezoelektrikum beschichtet oder beklebt ist, was den Bolzen erheblich verteuert.

15

Zudem ist bekannt, mikromagnetische Verfahren und Sensoren, die auf dem Barkhausenrauschen basieren, zur Detektion von Materialveränderungen durch Bearbeitungsprozesse einzusetzen. Hierbei wird die Kenntnis ausgenutzt, dass die magnetische Struktur der Werkstoffe von den Materialeigenschaften beeinflusst wird. Kristallitgrenzen und andere Inhomogenitäten wie Versetzungen, Fremdatome und Einschlüsse behindern die Bewegung der sogenannten Bloch-Wände. Das Ablösen der Wände von Inhomogenitäten führt zu Sprüngen in der Magnetisierung, dem sogenannten Barkhausenrauschen. Mit einer Spule können diese ruckartigen Bewegungen der Bloch-Wände in Form kurzer elektrischer Impulse registriert werden. Die Anzahl, Höhe und Intensität der Impulse ist dabei material- und zustandsabhängig.

20

25

Ein derartiges Verfahren zur zerstörungsfreien Materialcharakterisierung ferromagnetischer Stoffe ist beispielsweise in DE 196 31 311 C2 beschrieben. Das

Messprinzip basiert darauf, dass bei periodischer Ummagnetisierung eines Ferromagneten die magnetische Domainstruktur kontinuierlich verändert wird. Begrenzungen zwischen Bereichen gleicher Magnetisierung (d.h. Bloch-Wände) bewegen sich bei Magnetisierungsänderung durch das Werkstoffgefüge und treten mit der Mikrostruktur des Werkstoffes in Wechselwirkung. Diese Wechselwirkung wird als elektromagnetisches Signal - dem sogenannten Barkhausenrauschen - empfangen.

Derartige auf einer Analyse des Barkhausenrauschens basierende Verfahren werden im Allgemeinen bei der Qualitätskontrolle eingesetzt. Sie werden z.B. für die Optimierung verschiedener Bearbeitungsprozesse (Schleifen, Wärmebehandeln etc.) von Bauteilen eingesetzt. Die Bauteile können z.B. geschliffene Teile, Nockenwellen, Kurbelwellen, Lager, Zahnräder, Einspritzventile und zahlreiche andere Teile aus der Automobiltechnik sowie der Luft- und Raumfahrt sein.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung zu schaffen, das schnell und mit geringem apparativem Aufwand in der Lage ist, insbesondere Spannungs-/Dehnungszustände von Befestigungsmitteln zu bestimmen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein Erreger-/Sensormittel zumindest benachbart zu einem magnetischen oder magnetisierbaren Element - vorzugsweise zumindest in einem Teilbereich um das magnetische oder magnetisierbare Element - angeordnet wird; dass das Erregermittel mit einem ansteigenden Magnetisierungsstrom beaufschlagt wird; dass das Einsetzen des Barkhausenrauschens in dem Element in Abhängigkeit des Magnetisierungsstromes mit Hilfe des Sensormittels erfasst wird, wobei das Einsetzen des Barkhausenrauschens ein Maß für den Spannungs-/Dehnungszustand des Elements ist. Zweck-

mäßigerweise wird dabei das Einsetzen des Barkhausenrauschens durch Vergleichsmessung mit Referenzwerten ermittelt.

Die Erfindung hat den Vorteil, dass der physikalische Effekt des Barkhausenrauschens auf effektive Weise ausgenutzt wird. Der Spannungs-/Dehnungszustand eines magnetischen bzw. magnetisierbaren (vorzugsweise ferromagnetischen) Elements wird durch einfaches Anbringen eines Erreger-/Sensormittels berührungslos bestimmt. Dabei wird das Element durch das vom Erregermittel erzeugte Magnetfeld magnetisiert und das Sensormittel erfasst das Barkhausenrauschen.

Es ist besonders zweckmäßig, das Erreger-/ Sensormittel einstückig auszubilden, vorzugsweise durch eine einzige Spule, die gleichzeitig als Erregermittel und Sensormittel dient. Das Sensormittel erfasst dabei den Magnetisierungsstrom, bei dem das Barkhausenrauschen auftritt, wobei der Magnetisierungsstrom proportional zur inneren Spannung im Element ist. Eine derartige Anordnung hat den Vorteil, dass der apparative Aufwand so gering wie möglich gehalten wird.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform wird das Erregermittel wiederum durch eine Spule ausgebildet. Das Sensormittel zum Erfassen des Barkhausenrauschens ist jedoch ein akustischer oder interferometrischer Detektor. Derartige Sensoren zeichnen sich insbesondere durch kleine Abmessungen vorteilhaft aus.

Zweckmäßigerweise wird ein gepulster Magnetisierungsstrom verwendet, wobei das Sensormittel während der Auszeit der Impulse auf Empfang für das Barkhausenrauschen gestellt wird. Dies hat den Vorteil, dass höhere magnetische Felder erzeugt werden können, ohne das Erregermittel thermisch zu überlasten.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist es vorteilhaft, zwischen dem magnetischen oder magnetisierbaren Element und einer damit in Verbindung zu brin-

genden Struktur (z.B. einem Bauteil) ein Zwischenelement aus nichtmagnetischem oder nichtmagnetisierbarem Material anzuordnen. Das magnetische oder magnetisierbare Element ist beispielsweise ein Befestigungsmittel in Form eines Bolzens und das Zwischenelement kann eine Unterlegscheibe oder Ähnliches sein. Vorteilhaft bei dieser Ausführungsform ist, dass die auf Grund der Befestigung in dem Befestigungsmittel bestehenden Spannungen direkt gemessen werden. Die Unterlegscheibe ist optional und besteht vorzugsweise aus nichtferromagnetischem Material.

10 Gemäß einer alternativen Ausführungsform ist es zweckmäßig, dass ein magnetisches oder magnetisierbares Element zunächst zwischen ein nichtmagnetisches oder nichtmagnetisierbares Befestigungsmittel und einer damit in Verbindung zu bringenden Struktur angeordnet wird. Vorteilhafterweise können somit auch Spannungs-/Dehnungszustände eines nicht magnetischen Befestigungsmittels be-  
15 stimmt werden, da die von dem Befestigungsmittel auf ein vorzugsweise ferromagnetisches Element (z.B. Unterlegscheibe) übertragenen mechanischen Spannungen gemessen werden.

20 Das erfindungsgemäße Verfahren findet bevorzugt bei der Messung von Spannungs-/Dehnungszuständen von Befestigungsmitteln (z.B. geschraubte oder gesteckte Bolzen, Nieten etc.) Anwendung. Das Verfahren ist vielfältig einsetzbar, beispielsweise bei der Wartung von Flugzeugen, Hubschraubern, Kraftfahrzeugen etc.

25 Nachstehend wird die Erfindung anhand der beigefügten Abbildungen in näheren Einzelheiten beschrieben; in denen zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung einer bevorzugten Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

**Fig. 2** Darstellungen experimenteller Messwerte des Barkhausenrauschens;

**Fig. 3** eine schematische Darstellung einer zu Fig. 1 alternativen Messanordnung;

5 und

**Fig. 4** eine schematische Darstellung einer alternativen Messanordnung an Hand einer genieteten Verbindung.

10 **Fig. 1** zeigt einen Bolzen 4, der mit einer Struktur 6 in Verbindung steht. In der Regel dient der Bolzen 4 zur Befestigung, Fixierung oder Halterung der Struktur, welche mehrere Bauteile umfassen kann. Die Verbindung zwischen Bolzen 4 und Struktur 6 kann geschraubt, genietet, gesteckt oder dergleichen sein. Bei dem in **Fig. 1** gezeigten geschraubten Bolzen ist in der Regel eine Unterlegscheibe 5 zwischen dem Kopf 4a des Bolzens und der Struktur 6 angeordnet.

15 Zur Bestimmung des Spannungs-/Dehnungszustandes des Bolzens 4 wird in einem ersten Schritt die in **Fig. 1** mit Bezugsziffer 1 bezeichnete Spule über den Kopf 4a des Bolzens gestülpt. Die Spule 1 kann jedoch auch auf den Kopf 4a aufgesetzt sein oder benachbart zum Bolzen 4 angeordnet sein. Die Spule 1 dient gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sowohl zur Erzeugung eines Magnetfeldes als auch zur Detektion des Barkhausenrauschens, was im folgenden in näheren Einzelheiten beschrieben wird. Anstelle der einzelnen Spule 1 können aber auch separate Komponenten verwendet werden; beispielsweise eine erste Spule, 20 die zur Erzeugung des Magnetfeldes dient, sowie eine zweite Spule, die zur Erfassung des Barkhausenrauschsignals dient. Im Folgenden wird auf die alternative Ausführungsform, bei der die Erregerspule mit Bezugsziffer 2 und die Sensorspule mit Bezugsziffer 3 bezeichnet wird, jeweils durch In-Klammern-Setzen der entsprechenden Komponenten Bezug genommen.



Die Spule 1 (bzw. die Erregerspule 2) dient zunächst als Magnetisierungsspule und wird mit einem Magnetisierungsstrom zur Erzeugung eines Magnetfeldes erregt. Besteht der Bolzen 4 aus ferromagnetischem Material, so bewirkt das Magnetisierungsfeld, dass die Elementarmagnete durch das Magnetfeld der stromdurchflossenen Spule 1 (bzw. der Erregerspule 2) ausgerichtet werden. Bekanntlich ist das Umklappen der Elementarmagnete ein sprunghafter Vorgang (s. Fig. 2), der eine Änderung des magnetischen Flusses zur Folge hat, wodurch in der Spule 1 (bzw. der Sensorspule 3) eine Spannungsänderung induziert wird. Dabei ist der Beginn des Umklappens bzw. Ausrichtens der Elementarmagnete abhängig von der Magnetisierungsfeldstärke bzw. vom Magnetisierungsstrom sowie von inneren mechanischen Spannungen im Material. Eine an den Bolzen 4 angelegte Zugspannung wirkt dabei der Ausrichtung der Elementarmagnete entgegen bzw. die Elementarmagnete beginnen wieder in ihre ursprüngliche Ausrichtung umzu-  
klappen. Dieses Umklappen der einzelnen Elementarmagnete erzeugt wiederum eine Änderung des magnetischen Flusses, wodurch in der Spule 1 (bzw. in der Sensorspule 3) Ströme induziert werden (sogenanntes Barkhausenrauschen). Da die zur Magnetisierung des Bolzens 4 notwendige magnetische Feldstärke bzw. der Magnetisierungsstrom auch eine Funktion der inneren mechanischen Spannung ist, kann der Spannungs-/Dehnungszustand des Bolzens 4 ermittelt werden. Mit anderen Worten, ein kontinuierlich ansteigender Magnetisierungsstrom erzeugt ein stetig ansteigendes Magnetfeld in der Spule 1 (bzw. der Erregerspule 2), wobei der bei Beginn des Barkhausenrauschens anliegende Magnetisierungsstrom ein Maß für die am Bolzen 4 anliegende Zugspannung ist.

25

In der Regel wird ein gepulster Magnetisierungsstrom verwendet, um die thermische Belastung der Spule 1 (bzw. der Erregerspule 2) so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig wird das Einsetzen des Barkhausenrauschens in Abhängigkeit des Magnetisierungsstromes durch die Spule 1 (bzw. durch die Sensorspule 3)

- überwacht. Die Messung erfolgt induktiv, wobei die Spule 1 jeweils während der Auszeit der Impulse des Magnetisierungsstromes auf Empfang für das Barkhausenrauschen gestellt ist. Zur genauen Bestimmung des Spannungs-/Dehnungszustandes werden als Referenz Vergleichsmessungen herangezogen, die zuvor an Bolzen (bzw. Nieten etc.) aus gleichem Material und gleicher Geometrie ermittelt wurden. Der Spannungs-/Dehnungszustand wird also durch Vergleichsmessungen mit zuvor bestimmten und beispielsweise in einer Tabelle elektronisch abgelegten Messwerten bestimmt.
- 10 Ferner ist anzumerken, dass bei der Messung des Spannungs-/Dehnungszustandes eines z.B. ferromagnetischen Bolzens eine Unterlegscheibe aus nichtmagnetischem bzw. nichtmagnetisierbarem Material verwendet werden sollte, die nachstehend analog zu Fig.1 mit Bezugsziffer 5' bezeichnet wird.
- 15 Zudem kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch der Spannungs-/ Dehnungszustand eines nichtmagnetischen oder nichtmagnetisierbaren Bolzens bestimmt werden, der analog zur bisherigen Bezeichnungsweise nachstehend mit Bezugsziffer 4' bezeichnet wird. In diesem Fall wird eine Unterlegscheibe 5 aus magnetischem oder magnetisierbarem Material verwendet, so dass mit dem oben
- 20 beschriebenen Messverfahren die vom Bolzen 4' auf die Unterlegscheibe 5 übertragene Spannung in entsprechender Weise bestimmt wird.
- Alternativ kann das Barkhausenrauschen anstelle auf induktive Weise mittels Sensorspule 3 durch einen akustischen oder interferometrischen Detektor 7 er-
- 25 fasst werden, was in Fig. 3 schematisch dargestellt ist. Das der Erfindung zugrundeliegende Prinzip ist unverändert, lediglich das Barkhausenrauschen wird auf andere Weise erfasst. Der Detektor 7 kann beispielsweise ein Mikrophon oder ein Piezoelement sein, um nur einige Beispiele zu nennen.



Fig. 4 zeigt eine weitere alternative Messanordnung am Beispiel einer Nietverbindung. Die Niete ist in Fig. 4 mit Bezugsziffer 8 bezeichnet und die damit versehene Struktur, entsprechend zur Bezeichnungsweise in Fig. 1 bzw. Fig. 3, mit Bezugsziffer 6. In Fig. 4 sind ferner Erregerspule 2 und Sensorspule 3 separat, als Spulenwicklungen um einen Kern 9 dargestellt. Die Erregerspule 2 wird wiederum mit einer variablen Magnetisierung beaufschlagt und die Sensorspule 3 erfasst induzierte Spannungen durch Umklappen der Domänen. Anstelle der Sensorspule 3 kann auch hier zur Detektion des Barkhausenrauschens ein akustischer oder interferometrischer Detektor 7 verwendet werden.

10

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung mittels Barkhausenrauschen,  
5 **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Erreger-/Sensormittel (1; 2, 3; 2, 7) zumindest benachbart zu einem magnetischen oder magnetisierbaren Element (4; 5) angeordnet wird; dass das Erregermittel (1; 2) mit einem ansteigenden Magnetisierungsstrom beaufschlagt wird; dass das Einsetzen des Barkhausenrauschens in dem Element (4; 5) in Abhängigkeit des Magnetisierungsstromes mit Hilfe des  
10 Sensormittels (1; 3; 7) erfasst wird, wobei das Einsetzen des Barkhausenrauschens ein Maß für den Spannungs-/Dehnungszustand des Elements (4; 5) ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einsetzen des Barkhausenrauschens durch Vergleichsmessungen mit Referenzwerten ermittelt  
15 wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein gepulster Magnetisierungsstrom verwendet wird, wobei das Sensormittel (1; 3; 7) während der Auszeit der Impulse das Signal des Barkhausenrauschens erfasst.
- 20 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem magnetischen oder magnetisierbaren Element (4) und einer damit in Verbindung zu bringenden Struktur (6) ein Zwischenelement (5') aus nichtmagnetischem oder nichtmagnetisierbarem Material angeordnet wird.
- 25 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das magnetische oder magnetisierbare Element (5) vor Bestimmung seines Spannungs-/Dehnungszustandes zwischen ein nichtmagnetisches oder nichtmag-

netisierbares Befestigungselement (4') und einer damit in Verbindung zu bringenden Struktur (6) angeordnet wird.

5 6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnetisierungsstrom proportional zur inneren Spannung des Elements (4; 5) ist.

10 7. Verwendung des Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche zur Messung von Spannungs-/Dehnungszuständen in geschraubten, gesteckten oder genieteten Befestigungsmitteln.

### Zusammenfassung

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Spannungs-/Dehnungs-  
messung mittels Barkhausenrauschen und ist dadurch gekennzeichnet, dass ein  
Erreger-/Sensormittel (1; 2, 3; 2,7) zumindest benachbart zu einem magnetischen  
oder magnetisierbaren Element (4; 5) angeordnet wird; dass das Erregermittel (1;  
10 2) mit einem ansteigenden Magnetisierungsstrom beaufschlagt wird; dass das  
Einsetzen des Barkhausenrauschens in dem Element (4; 5) in Abhängigkeit des  
Magnetisierungsstromes mit Hilfe des Sensormittels (1; 3; 7) erfasst wird, wobei  
das Einsetzen des Barkhausenrauschens ein Maß für den Spannungs-  
/Dehnungszustand des Elements (4; 5) ist.

15 [Fig. 1]

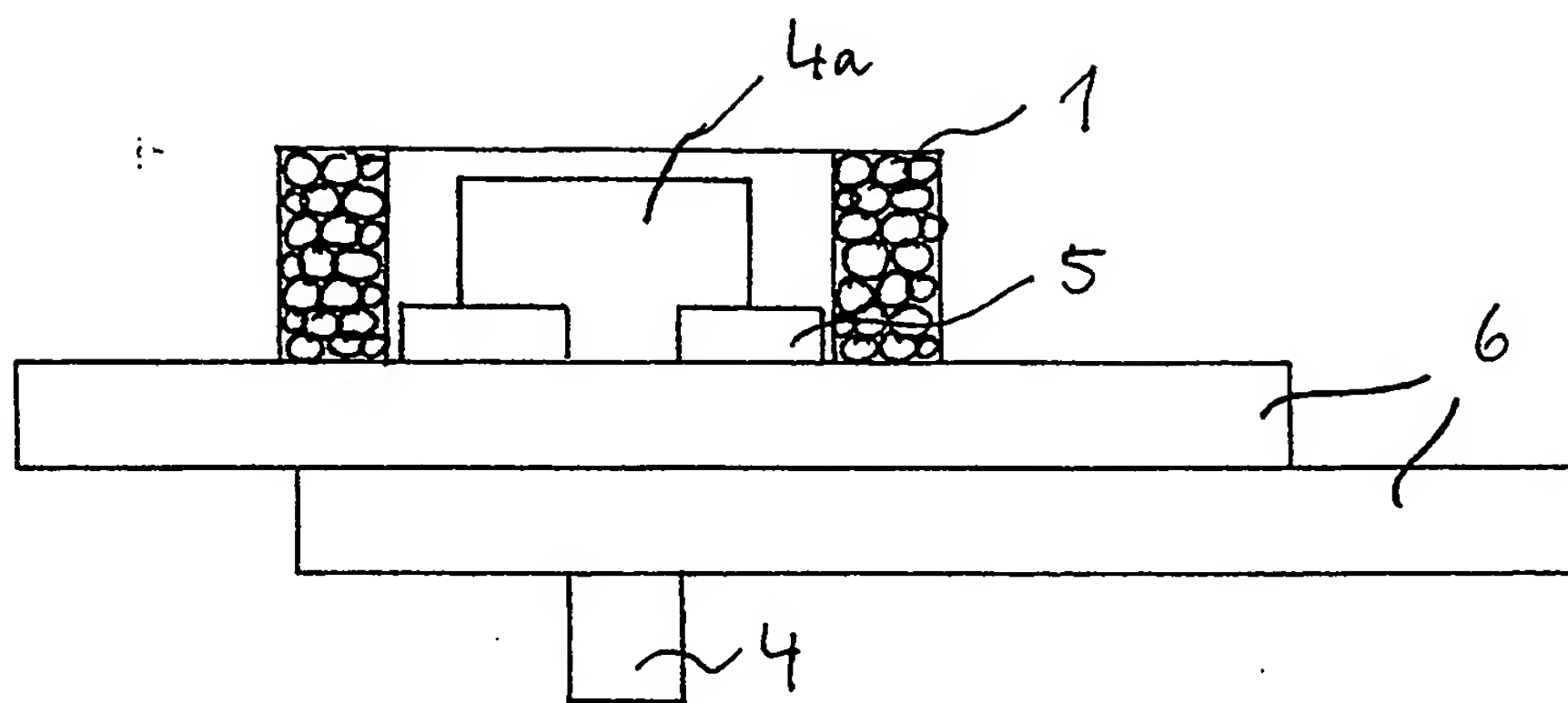


Fig. 1

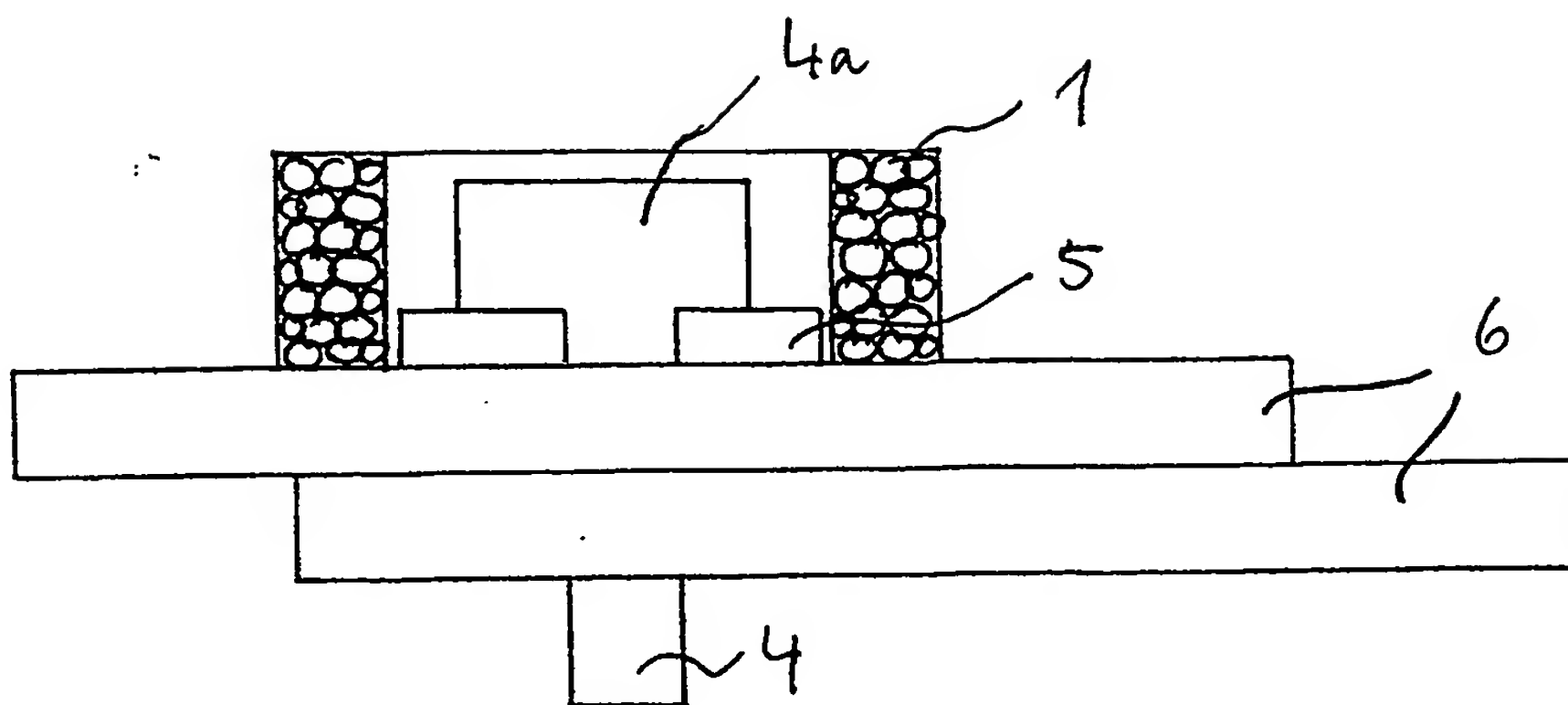


Fig. 1

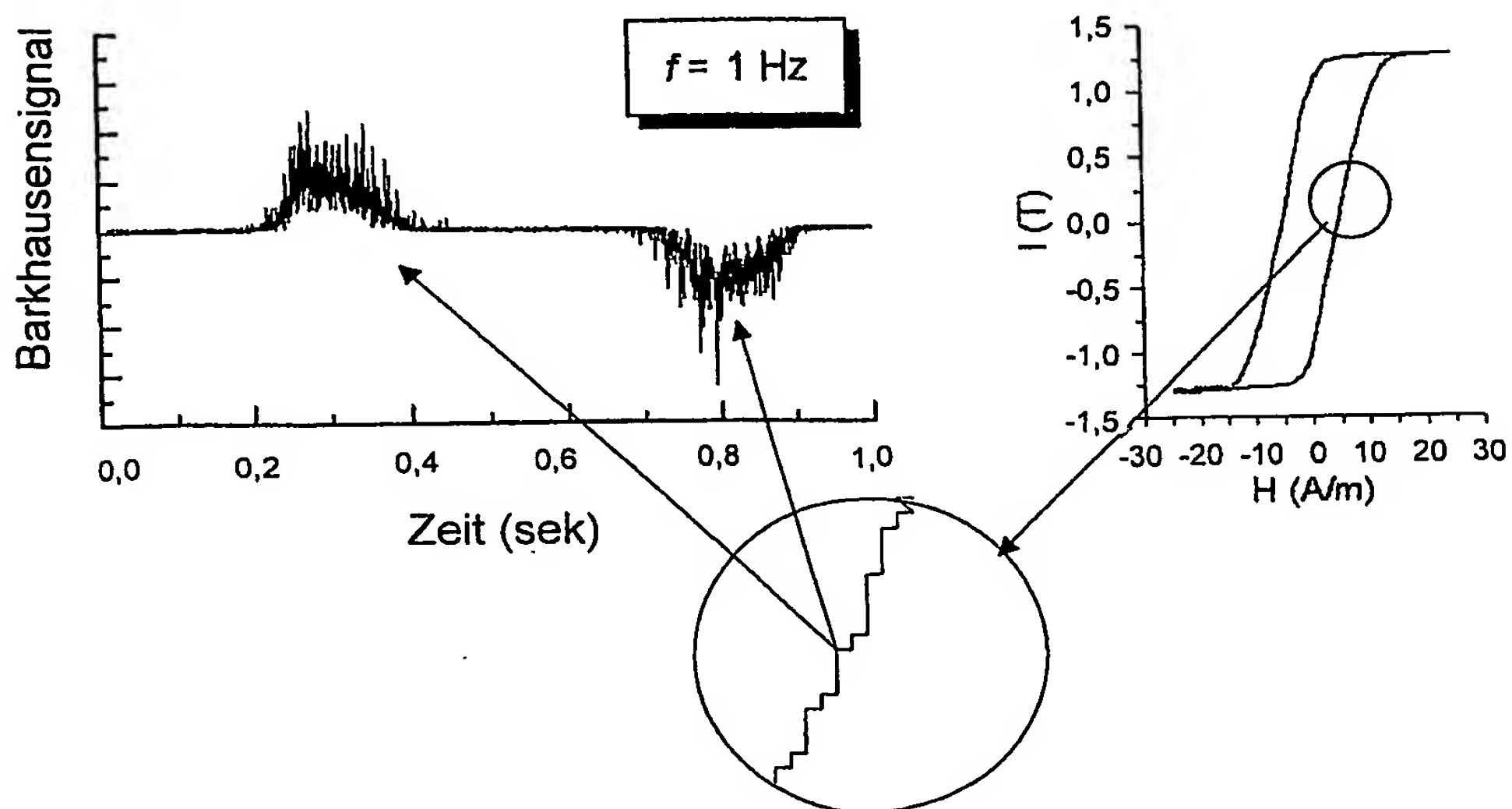


Fig. 2



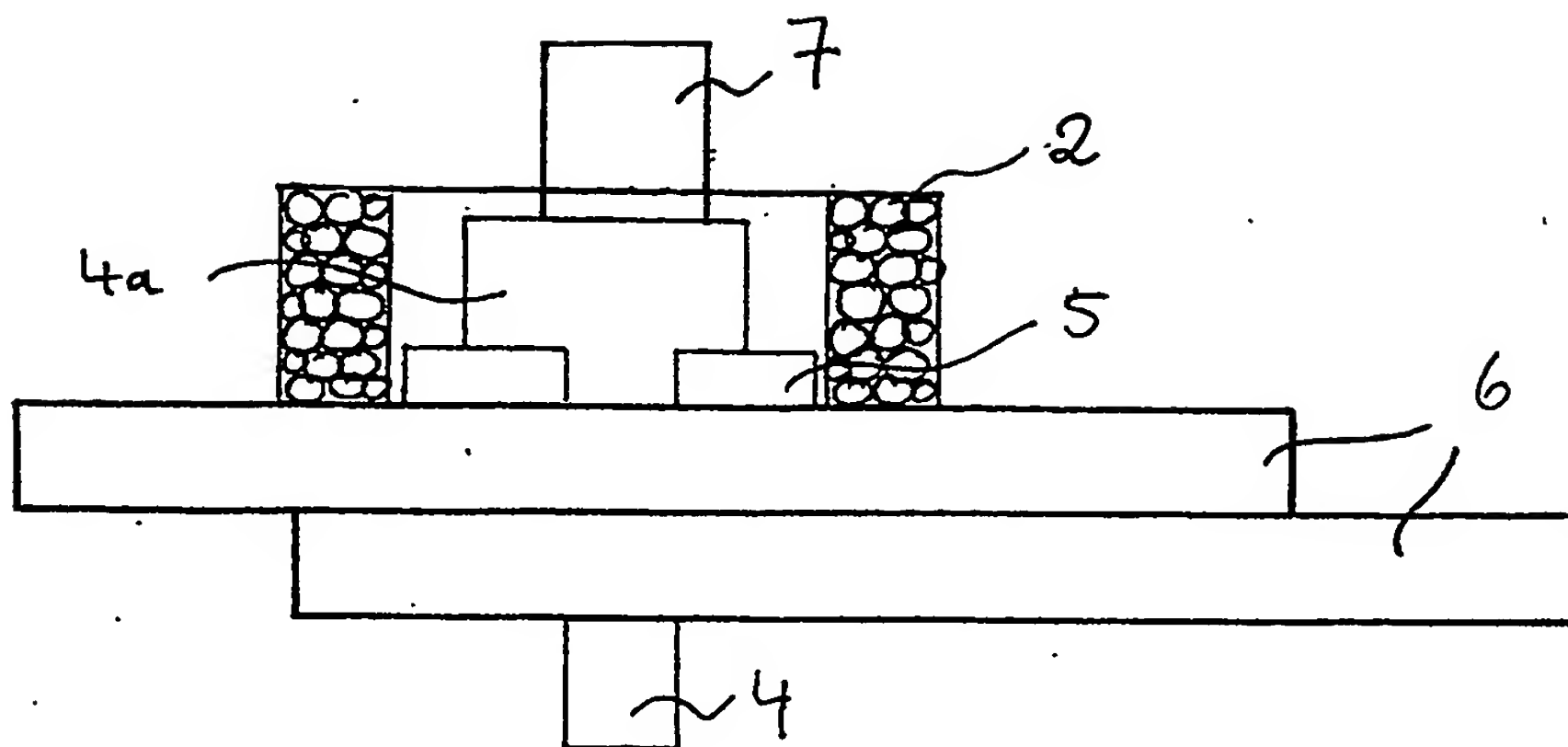


Fig. 3

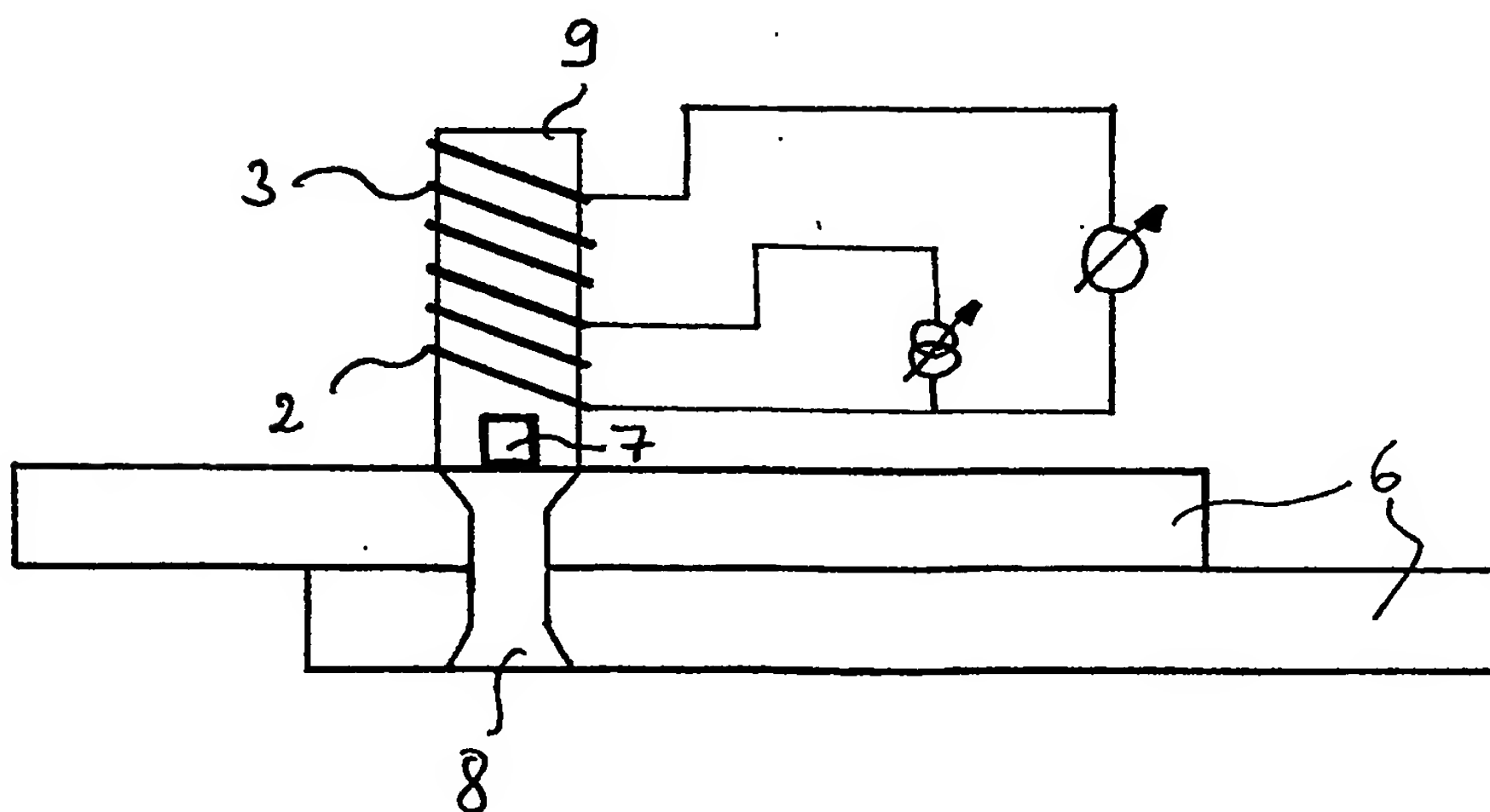


Fig. 4